

## BEST AVAILABLE COPY

MENU

SEARCH

INDEX

DETAIL

JAPANESE

1 / 1

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-053712

(43)Date of publication of application : 23.02.2001

(51)Int.Cl.

H04J 11/00

(21)Application number : 11-222373

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH  
CORP <NTT>

(22)Date of filing : 05.08.1999

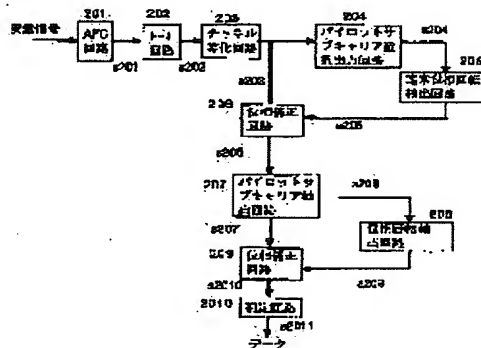
(72)Inventor : KIZAWA TAKESHI  
MIZOGUCHI MASATO  
KUMAGAI TOMOAKI  
MORIKURA MASAHIRO

## (54) PHASE TRACKING CIRCUIT FOR MULTICARRIER MODULATION SIGNAL

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a circuit which separately corrects the phase rotation detection of phase noise and which suppresses deterioration by permitting separate correction means to correct stationary phase rotation due to a residual carrier frequency error occurred by an automatic frequency control means and to correct phase rotation due to phase noise.

**SOLUTION:** A pilot sub-carrier extraction circuit 207 extracts a pilot sub-carrier signal s208 and outputs a sub-carrier signal s207 except for a pilot sub-carrier signal s208. A phase rotation detection circuit 208 detects a phase rotation signal s209 due to phase noise. Weighting can be executed by using channel transmission functions for the respective sub-carriers, which are estimated by a channel equalizing circuit 203. A phase correction circuit 209 corrects phase rotation quantity due to phase noise by using the phase rotation signal s209 with respect to the sub-carrier signal s207 and outputs a phase correction signal s2010. A judgment circuit 2010 judges data in accordance with a signal point from a threshold and outputs data s2011.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.10.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the phase tracking circuit which amends the phase rotation by the residual carrier frequency error produced in the automatic-frequency-control (AFC) section especially in this demodulator, and the phase rotation by the phase noise added in the case of frequency conversion between transceiver machines about the demodulator for multi-carriers used for a digital radio communications system.

[0002]

[Description of the Prior Art] A multi-carrier strange recovery method is a method which carries out an information transmission using two or more subcarriers. An input data signal is modulated by 16QAM (Quadrature amplitude modulation) etc. for every subcarrier. The rectangular cross multi-carrier modulation technique which has the frequency of each subcarrier in orthogonality relation in this multi-carrier modulation technique is also called an orthogonal frequency division multiplex (OFDM:Orthogonal frequency division multiplexing) modulation technique, and package generation is carried out using a reverse fast-Fourier-transform (Inverse fast Fourier transform) circuit. Frequency conversion of this signal is carried out to a subcarrier band, and it is transmitted from a transmitting antenna. In a receiver, frequency conversion of the carrier signal which received is carried out to a \*-SUBBAND signal. Then, it is inputted into an AD converter (Analog to digital converter), and is outputted as digital baseband signaling, and processing of an OFDM recovery etc. is performed.

[0003] A phase noise joins an input signal in the case of frequency-conversion actuation with such a transceiver vessel. Although it is possible to stop using automatic frequency control (AFC) about a carrier frequency error, a residual carrier frequency error arises by AFC. By the method which uses the M values QAM, such as 16QAM suitable for improvement in the speed of transmission speed, for a subcarrier modulation, in order to perform the data judging of a receiving symbol on the basis of an absolute phase in the case of a recovery, the phase rotation by the residual carrier frequency error or the phase noise leads to the increment in an error rate. The phase tracking circuit which amends by transmitting the pilot subcarrier signal which is known as an amendment circuit to these phase rotations, and a receiver detecting the phase rotation of a pilot subcarrier is common. The block diagram of the conventional phase tracking circuit is shown in drawing 8. In the conventional phase tracking circuit, phase tracking is performed to the subcarrier signal after channel identification using a pilot subcarrier. Actuation of the phase tracking circuit shown in drawing 8 is shown below. In AFC circuit 1, amendment of the carrier frequency error of a receiving OFDM signal is performed. Then, the time domain OFDM input signal s1 is inputted into the FFT circuit 2, and an OFDM package recovery is performed. Each subcarrier signal s2 by which the OFDM recovery was carried out is inputted into the channel equalizing circuit 3, presumes the transfer function of each channel produced in the multi-pass transmission line, and performs channel identification for every subcarrier. Moreover, the channel transfer function for every subcarrier detected in the channel equalizing circuit can also be used for weighting actuation of each pilot subcarrier signal in the case of phase rotation detection. It is divided into the pilot subcarrier signal s4 and subcarrier signals

s9 other than a pilot subcarrier signal to the channel identification signal s3 in the pilot subcarrier extract circuit 4. In the phase rotation detector 6, the phase rotation s6 for every pilot subcarrier is detected using the pilot data signal s5 memorized to the pilot subcarrier signal s4 in the pilot data signal store circuit 5. In the phase rotation average circuit 7, the phase rotation s7 per [ which averaged the phase rotation detected for every pilot subcarrier ] 1 OFDM symbol is detected. The effect of thermal noise is pressed down by performing equalization actuation of the direction of time amount over two or more OFDM symbols in a filter 8, and the phase rotation s8 by the residual carrier frequency error and the phase noise is extracted. Then, in phase compensator 9, the phase correction signal s10 is outputted for amendment of a phase rotation to the subcarrier signal s9 using the extracted phase rotation s8. The judgment of data is performed in the judgment circuit 10, and data S11 are outputted.

[0004] As explained above, in the phase tracking circuit shown in drawing 8, detection of the phase rotation by the residual carrier frequency and the phase noise and phase correction are performed. It becomes possible to use for the modulation technique of a subcarrier the modulation technique to which the synchronous detection was suitable for improvement in the speed like the indispensable M value QAM by using such a phase tracking circuit.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Since a residual carrier frequency error and a phase noise exist by the M value QAM-OFDM method which realizes high-speed transmission speed, a phase tracking circuit is indispensable. Although average processing was carried out in the conventional phase tracking circuit in order to suppress the effect of thermal noise and a phase noise, in case phase rotation detection of a residual carrier frequency error is performed, there is a problem which cannot detect a residual carrier frequency error correctly. Since the phase rotation resulting from a residual carrier frequency error turns into stationary phase rotation, when stationary phase rotation per one symbol is set to  $\Delta\theta$ , and phase rotation presumed is set to  $\theta_{ac}$ , and its attention is paid only to a residual carrier frequency error, the phase rotation presumed is shown like (1). Here, the case of 2 symbol averages is shown for simplification.

[0006]

[Equation 1]

$$\theta_{ac} = \frac{\Delta\theta + 2 \cdot \Delta\theta}{2} = \frac{3}{2} \Delta\theta \quad (1)$$

[0007] Thus, an error will remain also in the phase rotation presumed by average actuation. However, average processing is indispensable in order to suppress the effect of thermal noise or a phase noise.

[0008] In the conventional phase tracking circuit, since phase detection was carried out without distinguishing the description from which the phase rotation resulting from a residual carrier frequency error and the phase rotation resulting from a phase noise differ, there was a problem on which phase rotation by the residual carrier frequency error cannot be detected with a sufficient precision, but a packet error rate deteriorates. Moreover, even if a phase noise uses a big frequency oscillator by applying the phase tracking circuit which is excellent in a property, it becomes possible to suppress degradation of an error rate.

[0009] In this invention, this problem is solved and it aims at offering the phase tracking circuit which suppressed degradation by the residual carrier frequency error which is a stationary phase rotation, and performing separately phase rotation detection/amendment of the phase noise which is fluctuation of a phase.

[0010]

[Means for Solving the Problem] It was a problem that degradation is [ like ] large when a phase tracking circuit is used, since [ which was mentioned above ] phase detection amendment was carried out without distinguishing a residual carrier frequency error and the description of a phase noise with the configuration of the conventional phase tracking circuit.

[0011] In this invention, it amends first by detecting the stationary phase rotation by the residual carrier frequency error for every OFDM symbol using each pilot subcarrier. Then, detection and amendment are

performed about the phase rotation by the phase noise. Thus, the problem mentioned above by carrying out detection amendment of the phase rotation resulting from a residual carrier frequency error and a phase noise according to an individual is solved.

[0012] The concrete actuation of the phase tracking circuit for multi-carriers of this invention is as follows. In the phase tracking circuit of this invention, in order to perform amendment by stationary phase rotation first, an accumulation phase rotation as shown in a formula (2) is used for detection of the stationary value.

[0013]

[Equation 2]

$$\theta_{accum} = \sum_{i=1}^n \theta_i \quad (2)$$

[0014] However, n shows the number of symbols of the reception OFDM which performs phase correction,  $\theta_i$  shows the phase rotation per 1 OFDM symbol, and  $\theta_{accum}$  shows an accumulation phase rotation.

[0015] Then, a division operation as shown in a formula (3) is performed, and stationary phase rotation  $\theta_e$  per each symbol is detected.

[0016]

[Equation 3]

$$\theta_e = \frac{\theta_{accum}}{n+1} \cdot 2 \quad (3)$$

[0017] Since stationary phase rotation detection is performed here using the phase rotation in the receiving n OFDM symbol time as which phase correction is performed as shown in a formula (3), there is no processing delay of an OFDM symbol unit, and phase detection amendment is possible. On the other hand, the time amount of number OFDM symbol extent is taken to stabilize the detected stationary phase rotation, when the level of thermal noise is large. In this case, a phase correction method is changed in the data division of the head section of a packet until an output is stabilized, and data divisions other than the head section of a packet. Explanation of this actuation is shown in drawing 1. In the packet head section, it detects without distinguishing a residual carrier frequency error and a phase noise using the same method as the conventional technique, and phase rotation is amended. The detection phase rotation used for phase correction after the number OFDM symbol time amount by which the detected stationary phase rotation was stabilized is changed to the phase rotation which was able to be obtained from this invention. A filter is used after amendment of the phase rotation resulting from a phase noise, therefore a residual carrier frequency error, fluctuation of the phase by the phase noise is extracted, and phase rotation is amended.

[0018] As mentioned above, in this invention, after amending the phase rotation by the residual carrier frequency error, the phase rotation detection by the residual carrier frequency error which was a problem can amend exactly by the ability realizing with a sufficient precision with the conventional technique by amending the phase rotation by the phase noise. Moreover, in taking time amount for the level of thermal noise to be large and to stabilize an accumulation phase rotation, it does not produce degradation resulting from the initial value of the stationary phase rotation detected in order that only the data division of the head section of a packet might perform phase spin compensation by the conventional technique being unstable. Since this method uses an accumulation phase rotation for amendment of a residual carrier frequency error, it is equipped with the property suitable for a packet signal with a long data length. Moreover, in detection of the stationary phase rotation by the residual carrier frequency error, since the phase rotation to this time is used, the processing delay of an OFDM symbol unit is not produced.

[0019]

[Embodiment of the Invention] The gestalt of operation of the phase tracking circuit for multi-carriers by claim 1 is shown in drawing 3. The gestalt of this operation shows the case where it applies to the method which detects a phase rotation using the pilot subcarrier inserted for every OFDM symbol as shown in the

model Fig. of the transmitting spectrum shown in drawing 2 .

[0020] The actuation of the gestalt of operation is as follows. In AFC circuit 201, as for a receiving OFDM signal, amendment of the carrier frequency error of an input signal is performed. Then, the time domain OFDM input signal s201 is inputted into the FFT circuit 202, and an OFDM recovery is performed. Each subcarrier signal s202 by which the OFDM recovery was carried out is inputted into the channel equalizing circuit 203, and channel identification is performed using the channel transfer function for every presumed subcarrier. The channel transfer function for every subcarrier detected in the channel equalizing circuit can also be used for weighting actuation of each pilot subcarrier signal here in the case of phase rotation detection. The draw of the pilot subcarrier signal s204 is performed to the channel identification signal s203 in the pilot subcarrier selection output circuit 204. In the stationary phase rotation detector 205, the phase rotation signal s205 is detected from the pilot subcarrier signal s204. It is also possible to perform weighting using the channel transfer function for every subcarrier presumed in the channel equalizing circuit in that case. In phase compensator 206, the deed phase correction signal s206 is outputted for amendment of a stationary phase rotation using this detected phase rotation signal s205.

[0021] As mentioned above, the pilot subcarrier selection output circuit 204, the stationary phase rotation detector 205, and phase compensator 206 are just going to consider as the description of the phase tracking circuit for multi-carriers of this invention, and the 1st extract means of claim 1, a stationary phase rotation detection means, and the 1st phase correction means are supported, respectively.

[0022] Next, phase rotation by the phase noise is amended succeedingly. First, the pilot subcarrier signal s208 is extracted in the pilot subcarrier extract circuit 207. On the other hand, subcarrier signals s207 other than a pilot subcarrier are also doubled and outputted. In the phase rotation detector 208, the phase rotation signal s209 by the phase noise is detected. It is also possible to perform weighting using the channel transfer function for every subcarrier presumed in the channel equalizing circuit in that case. In phase compensator 209, the phase rotation by the phase noise is amended using s209 to the subcarrier signal s207, and the phase correction signal s2010 is outputted.

[0023] Finally, in the judgment circuit 2010, the judgment of data is performed according to the signal point from a threshold, and data s2011 are outputted.

[0024] The gestalt of operation of the phase tracking circuit for multi-carriers by claim 2 is shown in drawing 4 . In addition, the circuit constituted from drawing 4 by 306,307,308,309 and 3010 is equivalent to the stationary phase rotation detector 205 of drawing 3 , and the circuit constituted by 3012, 3013, and 3014 of drawing 4 is equivalent to the phase rotation detector 208 of drawing 3 . The gestalt of this operation shows the case where it applies to the method which detects a phase rotation using the pilot subcarrier inserted for every OFDM symbol as shown in the model Fig. of the transmitting spectrum shown in drawing 2 .

[0025] The actuation of the gestalt of operation is as follows. In AFC circuit 301, as for a receiving OFDM signal, amendment of the carrier frequency error of an input signal is performed. Then, the time domain OFDM input signal s301 is inputted into the FFT circuit 302, and an OFDM recovery is performed. Each subcarrier signal s302 by which the OFDM recovery was carried out is inputted into the channel equalizing circuit 303, and channel identification is performed using the channel transfer function for every presumed subcarrier. The channel transfer function for every subcarrier detected in the channel equalizing circuit can also be used for weighting actuation of each pilot subcarrier signal here in the case of phase rotation detection. The draw of the pilot subcarrier signal s304 is performed to the channel identification signal s303 in the pilot subcarrier selection output circuit 304. In the phase rotation detector 307, the phase rotation s306 for every subcarrier is detected using the pilot data signal s305 memorized to the pilot subcarrier signal s304 in the pilot data signal store circuit 306. In the phase rotation average circuit 308, the average phase rotation s307, which averaged the phase of the pilot sign in 1 OFDM symbol is detected. It is also possible to perform weighting using the channel transfer function for every subcarrier presumed in the channel equalizing circuit in that case. Then, in the accumulation phase rotation detector 309, it integrates with a phase rotation by considering the average phase rotation signal s307 as an input,

and the accumulation phase rotation signal s308 is outputted. In the division circuit 3010, a division operation detects the phase rotation s309 for every symbol based on the accumulation phase rotation signal s308. In phase compensator 305, phase spin compensation is performed using the phase rotation signal s309 to the channel identification signal s303.

[0026] As mentioned above, the pilot subcarrier selection output circuit 304, the phase rotation detector 307, the phase rotation average circuit 308, the accumulation phase rotation detector 309, the division circuit 3010, and phase compensator 305 are just going to consider as the description of the phase tracking circuit for multi-carriers of this invention.

[0027] Next, phase rotation by the phase noise is amended succeeding. First, the pilot subcarrier signal s3012 is extracted in the pilot subcarrier extract circuit 3011. On the other hand, subcarrier signals s3011 other than a pilot subcarrier are also doubled and outputted. In the phase rotation detector 3012, the phase rotation s3013 by the phase noise is detected using the pilot data signal s305. In the phase rotation average circuit 3013, the average phase rotation s3014 within 1 OFDM symbol is detected after that. It is also possible to perform weighting using the channel transfer function for every subcarrier presumed in the channel equalizing circuit in that case. With a filter 3014, the phase rotation signal s3015 according equalization processing of the direction of time amount covering a number OFDM symbol to a deed phase noise is extracted. In phase compensator 3015, the phase rotation by the phase noise is amended using s3015 to the subcarrier signal s3011, and the phase correction signal s3016 is outputted.

[0028] Finally, in the judgment circuit 3016, the judgment of data is performed according to the signal point from a threshold, and data s3017 are outputted.

[0029] The gestalt of operation of the phase tracking circuit for multi-carriers by claim 3 is shown in drawing 5. The gestalt of this operation shows the case where it applies to the method which detects a phase rotation using the pilot subcarrier inserted for every OFDM symbol as shown in the model Fig. of the transmitting spectrum shown in drawing 2. Moreover, the gestalt of this operation shows the case where a phase correction method is changed by parts for data division other than the data division of the head of a packet, and the head section after it.

[0030] The actuation of the gestalt of operation is as follows. In AFC circuit 401, as for a receiving OFDM signal, amendment of the carrier frequency error of an input signal is performed. Then, the time domain OFDM input signal s401 is inputted into the FFT circuit 402, and an OFDM recovery is performed. Each subcarrier signal s402 by which the OFDM recovery was carried out is inputted into the channel equalizing circuit 403, and channel identification is performed using the channel transfer function for every presumed subcarrier. The channel transfer function for every subcarrier detected in the channel equalizing circuit can also be used for weighting actuation of each pilot subcarrier signal here in the case of phase rotation detection. In the output electronic switch 404, since processing of phase spin compensation which is different in parts other than the head section of a packet and the packet head section is performed, a channel identification signal is changed, and the packet head section signal s406 and signals s409 other than the packet head section are outputted. On the other hand, the draw of the pilot subcarrier signal s404 is performed to the channel identification signal s403 in the pilot subcarrier selection output circuit 405. In the phase rotation detector 406, the phase rotation s405 is detected using the pilot subcarrier signal s404. It is also possible to perform weighting using the channel transfer function for every subcarrier presumed in the channel equalizing circuit in that case.

[0031] To the phase correction of the packet head section, the deed phase correction signal s407 is outputted for amendment of the phase rotation to the packet head section signal s406 in phase compensator 407 using s405.

[0032] On the other hand, to the amendment to amendment of the signal after the packet head section, the phase rotation signal s408 is detected from the pilot subcarrier signal s404 in the stationary phase rotation detector 408. It is also possible to perform weighting using the channel transfer function for every subcarrier presumed in the channel equalizing circuit in that case. In phase compensator 409, stationary phase rotation is amended using the phase rotation signal s408 to the packet signal s409 after the packet head section.



[0033] As mentioned above, the output electronic switch 404, the pilot subcarrier selection output circuit 405, the phase rotation detector 406, phase compensator 407, the stationary phase rotation detector 408, and phase compensator 409 are just going to consider as the description of the phase tracking circuit for multi-carriers of this invention. The change means of claim 3, the 1st extract means, the 1st phase rotation detection means, the 1st phase correction means, a stationary phase rotation detection means, and the 2nd phase correction means are supported, respectively.

[0034] By packet signals other than the head section, phase rotation by the phase noise is amended succeedingly. First, the pilot subcarrier signal s4011 is extracted in the pilot subcarrier extract circuit 4010. On the other hand, subcarrier signals s4012 other than a pilot subcarrier are also doubled and outputted. In the phase rotation detector 4011, the phase rotation s4013 by the phase noise is detected. It is also possible to perform weighting using the channel transfer function for every subcarrier presumed in the channel equalizing circuit in that case. In phase compensator 4012, the phase rotation by the phase noise is amended using s4013 to the subcarrier signal s4012.

[0035] To the last, the signal s407 of the packet head section by which phase correction was carried out, and the signal s4014 after the packet head section are changed and outputted, and this is made into the selection phase correction signal s4015 in an input electronic switch at it. In the judgment circuit 4014, the judgment of data is performed according to the signal point from a threshold, and data s4016 are outputted.

[0036] The gestalt of operation of the phase tracking circuit for multi-carriers by claim 4 is shown in drawing 6. In addition, in drawing 6, the circuit constituted by 106,107,108,109 is equivalent to the phase rotation detector 406 of drawing 5, the circuit constituted by 106, 107, 108, 1011, and 1012 of drawing 6 is equivalent to the stationary phase rotation detector 408 of drawing 5, and the circuit constituted by 1015, 1016, and 1017 of drawing 6 is equivalent to the phase rotation detector 4011 of drawing 5. The gestalt of this operation shows the case where it applies to the method which detects a phase rotation using the pilot subcarrier inserted for every OFDM symbol as shown in the model Fig. of the transmitting spectrum shown in drawing 2. Moreover, the gestalt of this operation shows the case where a phase correction method is changed by parts for data division other than the data division of the head of a packet as shown in claim 3, and the head section after it.

[0037] The actuation of the gestalt of operation is as follows. In AFC circuit 101, as for a receiving OFDM signal, amendment of the carrier frequency error of an input signal is performed. Then, the time domain OFDM input signal s101 is inputted into the FFT circuit 102, and an OFDM recovery is performed. Each subcarrier signal s102 by which the OFDM recovery was carried out is inputted into the channel equalizing circuit 103, and channel identification is performed using the channel transfer function for every presumed subcarrier. The channel transfer function for every subcarrier detected in the channel equalizing circuit can also be used for weighting actuation of each pilot subcarrier signal here in the case of phase rotation detection. The draw of the pilot subcarrier signal s104 is performed to the channel identification signal s103 in the pilot subcarrier selection output circuit 104. In the output electronic switch 105, since processing of phase spin compensation which is different in parts other than the head section of a packet and the packet head section is performed, a channel identification signal is changed, and the packet head section signal s109 and signals s1010 other than the packet head section are outputted. On the other hand, in the phase rotation detector 107, the phase rotation s106 for every subcarrier is detected using the pilot data signal s105 memorized to the pilot subcarrier signal s104 in the pilot data signal store circuit 106. In the phase rotation average circuit 108, the average phase rotation s107 which averaged the phase of the pilot sign in 1 OFDM symbol is detected. It is also possible to perform weighting using the channel transfer function for every subcarrier presumed in the channel equalizing circuit in that case.

[0038] In order to use for the phase correction of the packet head section, the effect of thermal noise is pressed down by performing equalization actuation of the direction of time amount over two or more OFDM symbols using a filter 109, and a residual carrier frequency error and the filter output signal s108 by the phase noise are extracted. In phase compensator 1010, the deed phase correction signal s1011 is outputted for amendment of the phase rotation to the packet head section signal s109 using this extracted

filter output signal s108.

[0039] On the other hand, to the amendment to amendment of the signal after the packet head section, it integrates with a phase rotation by considering the average phase rotation signal s107 as an input in the accumulation phase rotation detector 1011, and the accumulation phase rotation signal s1012 is outputted. In the division circuit 1012, a division operation detects the phase rotation s1013 for every symbol based on the accumulation phase rotation signal s1012. In phase compensator 1013, phase spin compensation is performed using the phase rotation signal s1013 to packet signal s1010 after the packet head section.

[0040] As mentioned above, the output electronic switch 105, the pilot subcarrier selection output circuit 104, the phase rotation detector 107, the phase rotation average circuit 108, a filter 109, phase compensator 1010, the accumulation phase rotation detector 1011, the division circuit 1012, and phase compensator 1013 are just going to consider as the description of the phase tracking circuit for multi-carriers of this invention.

[0041] By packet signals other than the head section, phase rotation by the phase noise is amended succeedingly. First, the pilot subcarrier signal s1015 is extracted in the pilot subcarrier extract circuit 1014. On the other hand, subcarrier signals s1016 other than a pilot subcarrier are also doubled and outputted. In the phase rotation detector 1015, phase rotation s1017 by the phase noise are detected using the pilot data signal s106. In the phase rotation average circuit 1016, the average phase rotation s1018 within 1OFDM symbol is detected after that. It is also possible to perform weighting using the channel transfer function for every subcarrier presumed in the channel equalizing circuit in that case. With a filter 1017, the phase rotation signal s1019, according equalization processing of the direction of time amount covering a number OFDM symbol to a deed phase noise is extracted. 1018 amends the phase rotation by the phase noise in phase compensator using s1019 to the subcarrier signal s1016.

[0042] To the last, the signal s1011 of the packet head section by which phase correction was carried out, and the signal s1020 after the packet head section are changed and outputted, and this is made into the selection phase correction signal s1021 in an input electronic switch at it. In the judgment circuit 1020, the judgment of data is performed according to the signal point from a threshold, and data s1022 are outputted.

[0043] The effectiveness of the operation gestalt by the computer simulation of the phase tracking circuit of this invention is shown in drawing 7. The packet error rate (PER) property in case a residual carrier frequency error and a phase noise exist is shown in drawing. The conditions of simulation are shown in Table 1. fBW is PLL bandwidth as conditions for a phase noise, and  $\phi_{2r.m.s.}$  shows the signal power ratio of a phase noise. The result of the method which performs phase tracking only with a moving-average filter, without performing residual carrier frequency error correction which is the conventional method because of a comparison was also shown. Since it becomes impossible for a phase rotation to detect correctly by existence of a residual carrier frequency error when 3 symbol moving-average filter is used, a property deteriorates. The proposal method has amended beforehand the phase rotation by the residual carrier frequency error. Therefore, degradation by the residual frequency error could be suppressed and about 0.3dB of necessary Eb/NO has improved in PER=0.01 as compared with the case where the case where 2 symbol moving-average filter of the conventional method is used, and residual carrier frequency error correction are performed.

[0044] As mentioned above, it turns out that highly precise residual carrier frequency error detection and the extract of a phase noise are attained by using this invention, degradation of PER is suppressed, and a property improves.

[0045]

[Table 1]



データレート	24.0 Mbit/s
サブキャリア変調方式	16 QAM
誤り訂正方式	たたみ込み符号化ビタビ復号
符号化率	1/2
拘束長	7
データサブキャリア数	48
パイロットサブキャリア数	4
OFDM シンボル長	4.0 $\mu$ s
ガードインターバル長	0.8 $\mu$ s
フェーディングモデル	指数減衰レイリーフェーディング モデル

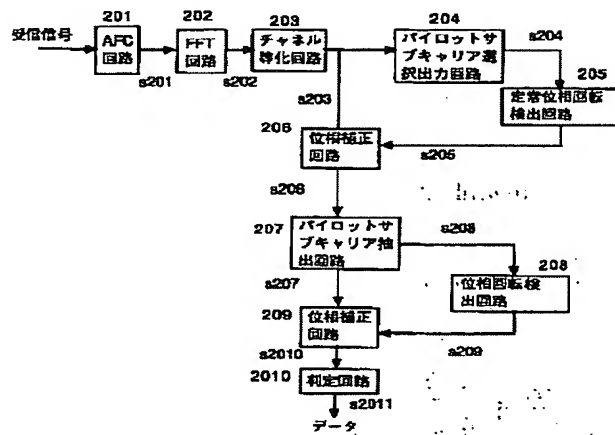
[0046]

[Effect of the Invention] It is possible to become possible to raise the detection precision of phase rotation by adding the residual carrier frequency error correction circuit using a residual carrier frequency error and the description of the phase rotation by the phase noise, and to offer a highly efficient phase tracking circuit in the phase tracking circuit for multi-carriers of this invention as stated above.

---

[Translation done.]

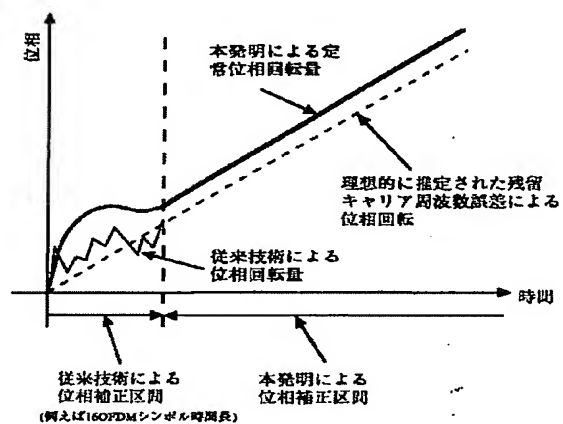
Drawing selection Representative drawing



本発明の実施例

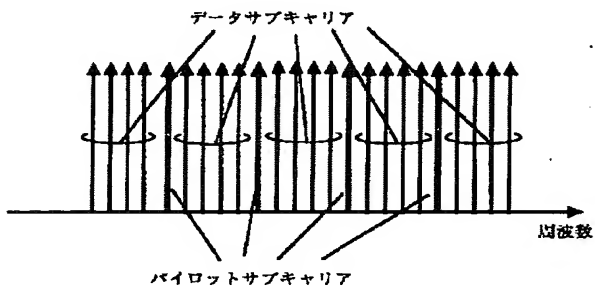
[Translation done.]

Drawing selection drawing 1

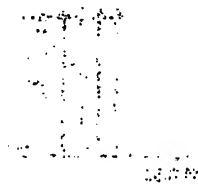


[Translation done.]

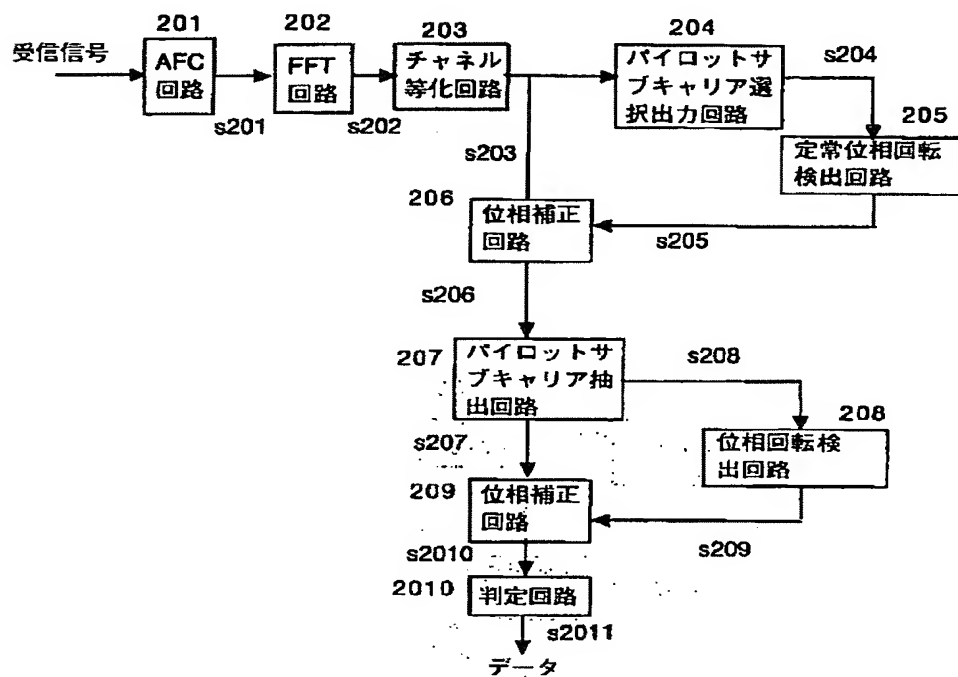
Drawing selection drawing 2



[Translation done.]



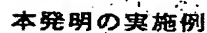
Drawing selection drawing 3



本発明の実施例

[Translation done.]

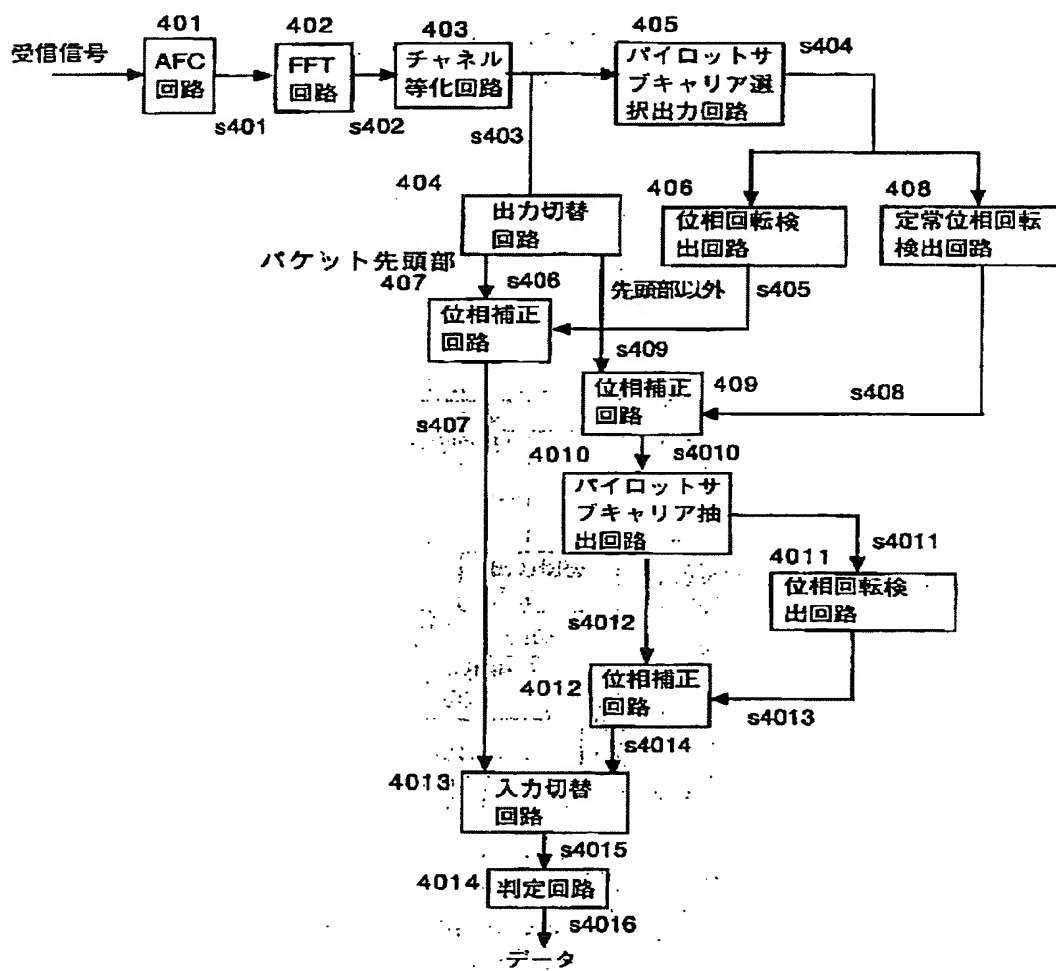
• • • • •



[Translation done.]



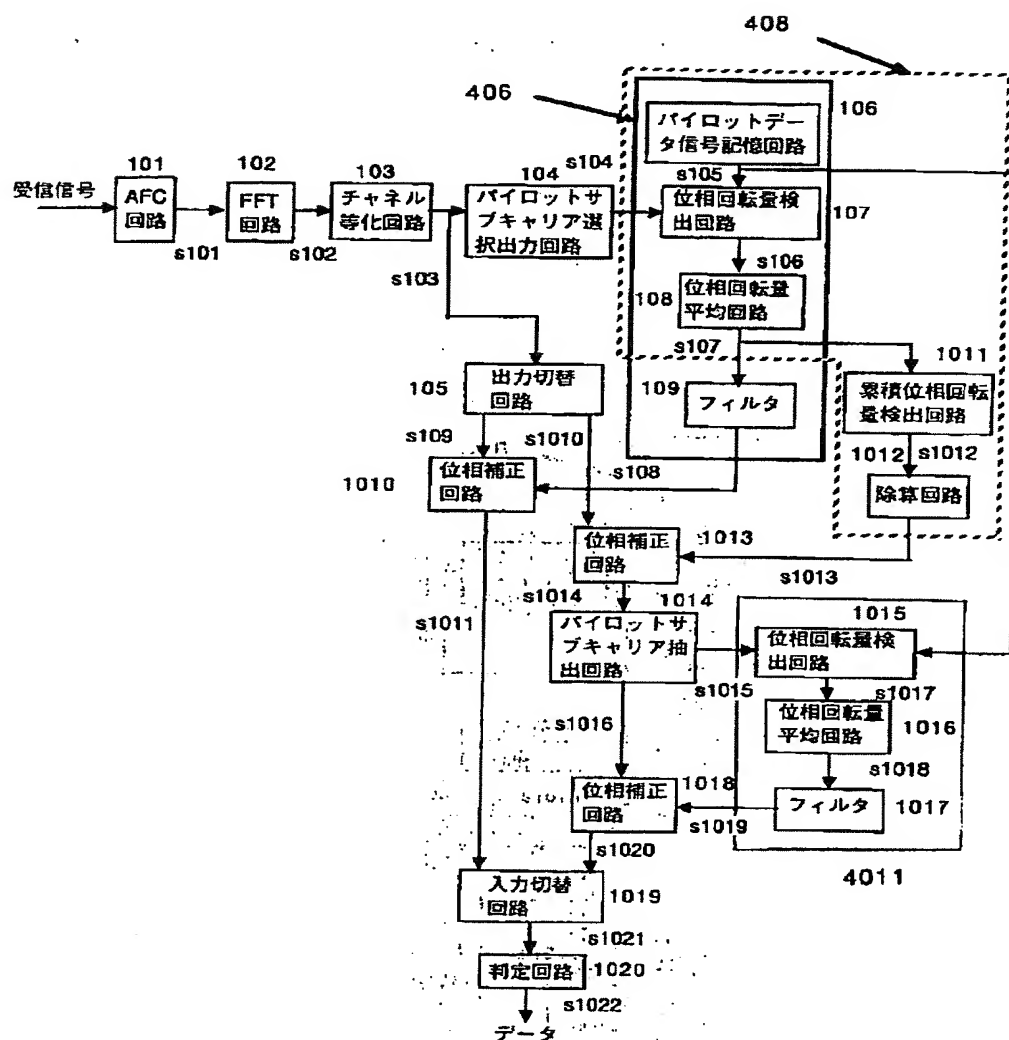
Drawing selection drawing 5



本発明の実施例

[Translation done.]

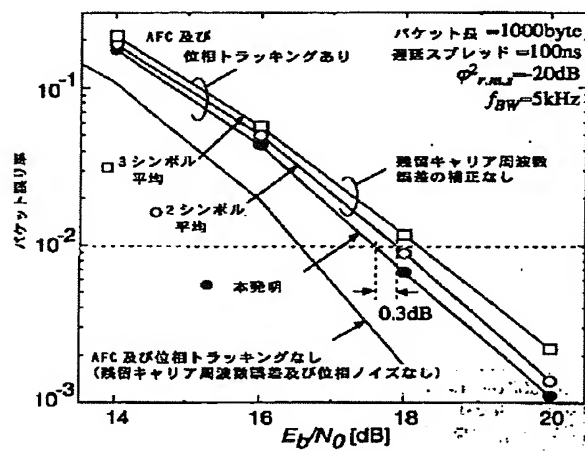
Drawing selection drawing 6



本発明の実施例

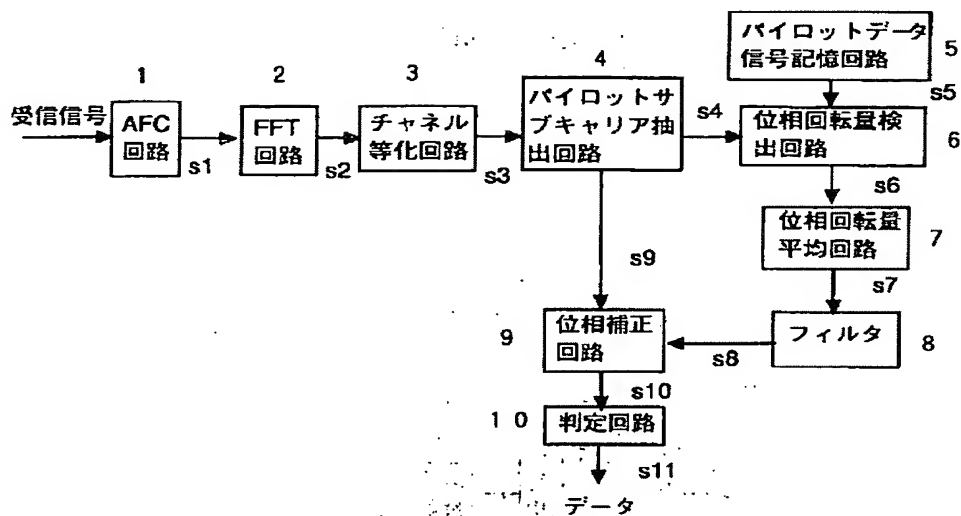
[Translation done.]

Drawing selection drawing 7



[Translation done.]

Drawing selection drawing 8



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-53712

(P 2001-53712 A)  
(43) 公開日 平成13年2月23日 (2001.2.23)

(51) Int. Cl. 7  
H04J 11/00

識別記号

F I  
H04J 11/00

テマコード (参考)  
Z 5K022

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全12頁)

(21) 出願番号 特願平11-222373

(22) 出願日 平成11年8月5日 (1999.8.5)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社  
東京都千代田区大手町三丁目3番1号

(72) 発明者 鬼沢 武

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 溝口 匡人

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(74) 代理人 100074930

弁理士 山本 恵一

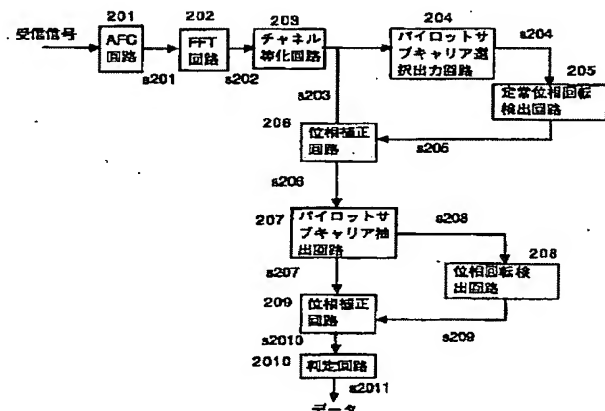
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マルチキャリア変調信号用位相トラッキング回路

(57) 【要約】

【課題】 マルチキャリア用復調器の位相トラッキング回路を提供する。

【解決手段】 AFCによりキャリア周波数誤差補正を行った後、パイロットサブキャリアを抽出して、定常位相回転量である残留キャリア周波数誤差を補正し、次いで、その出力に対し、位相の揺らぎである位相雑音の位相回転検出補正を行う。



本発明の実施例

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 自動周波数制御手段によりキャリア周波数誤差補正が行われた後、マルチキャリア復調されたサブキャリア信号の中からパイロットサブキャリア信号を抽出する第1の抽出手段と、

第1の抽出手段の出力信号を用いた定常位相回転検出手段と、

この定常位相回転検出値を用いて前記サブキャリア信号に対して位相補正を行う第1の補正手段と、

該第1の補正手段の出力からパイロットサブキャリア信号を抽出する第2の抽出手段と、

該第2の抽出手段の出力信号を用いて残留キャリア周波数誤差によって生じた位相回転を検出する位相回転検出手段と、

前記第2の抽出手段により抽出されたサブキャリア信号に対して位相回転補正を行う第2の位相補正手段とを備え、

前記自動周波数制御手段によって生じた残留キャリア周波数誤差に起因する定常位相回転の補正と、位相雑音による位相回転の補正を別々の補正手段によって行うことを特徴とするマルチキャリア変調信号用位相トラッキング回路。

【請求項2】 前記定常位相回転検出手段が、パイロットデータを記憶しておく記憶手段と、該記憶手段に記憶されたパイロットデータ信号を用いて残留キャリア周波数誤差に起因する定常位相回転を検出する位相回転量検出手段と、該位相回転量検出手段の出力信号の積分操作を行う累積位相回転量検出手段と、

前記累積位相回転量検出手段の出力信号から各マルチキャリアシンボルごとの位相回転量を導出する除算手段とを有し、

前記位相回転検出手段が、前記記憶手段の出力であるパイロットデータ信号を用いて前記第2の抽出手段出力であるパイロットサブキャリア信号から位相回転量を検出する位相回転量検出手段と、この位相回転検出手段の出力信号を平均する平均手段とを有する、請求項1記載のマルチキャリア変調信号用位相トラッキング回路。

【請求項3】 自動周波数制御手段によりキャリア周波数誤差補正が行われた後、マルチキャリア復調されたサブキャリア信号をバケット先頭部の信号とバケット先頭部以外の信号とに分けて出力する切替手段と、

前記サブキャリア信号からパイロットサブキャリア信号を抽出する第1の抽出手段と、

前記第1の抽出手段の出力信号を用いて位相回転を検出する第1の位相回転検出手段と、

前記第1の位相回転検出手段の出力信号を用いて、前記切替手段から出力されるバケットの先頭部のデータ信号に対して位相補正を行う第1の位相補正手段と、

前記第1の抽出手段の出力信号を用いて定常位相回転を検出する定常位相回転検出手段と、

前記定常位相回転検出手段の出力信号を用いて前記切替手段から出力されるバケット先頭部以外の信号に対して定常位相回転補正を行う第2の位相補正手段と、

該第2の位相補正手段の出力からパイロットサブキャリア信号を抽出する第3の抽出手段と、第3の抽出手段の出力信号を用いた第2の位相回転検出手段と、該位相回転検出手段による位相回転検出値を用いて前記第3の抽出手段の出力のサブキャリア信号に対して位相補正を行う第3の位相補正手段とを有し、

10 残留キャリア周波数誤差による位相回転の補正と位相雑音による位相回転の補正を別々の補正手段によって位相回転補正を行い、バケットの先頭部では前記第1の位相補正手段の出力信号を選択しバケットの先頭部以外では前記第2の位相補正手段の出力信号を選択することとを特徴とするマルチキャリア変調信号用位相トラッキング回路。

【請求項4】 前記第1の位相回転検出手段が、パイロットデータを記憶しておく記憶手段と、前記サブキャリア信号からパイロットサブキャリア信号を抽出する第2の抽出手段と、

20 前記第1の抽出手段の出力信号に対して前記記憶手段に記憶されたパイロットデータ信号を用いて位相回転量を検出する位相回転量検出手段と、該位相回転量検出手段の出力信号に対して平均操作を行う平均化手段とを有し、

前記定常位相回転検出手段が、前記位相回転量検出手段の出力信号に対して積分操作を行う累積位相回転量検出手段と、前記累積位相回転量検出手段の出力信号から各マルチキャリアシンボルごとの位相回転量を導出する除算手段とを有し、

30 前記第2の位相回転検出手段が、前記記憶手段の出力であるパイロットデータ信号を用いて前記第2の抽出手段出力であるパイロットサブキャリア信号から位相回転量を検出する位相回転量検出手段を有する、請求項3記載のマルチキャリア変調信号用位相トラッキング回路。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はデジタル無線通信システムに用いるマルチキャリア用復調器に関し、特に該復調器において自動周波数制御(AFC)部にて生じた残留キャリア周波数誤差による位相回転、及び送受信器間の周波数変換の際に加わる位相雑音による位相回転を補正する位相トラッキング回路に関する。

【0002】

【従来の技術】 マルチキャリア変復調方式は複数のサブキャリアを用いて情報伝送する方式である。サブキャリアごとに入力データ信号は16QAM(Quadrature amplitude modulation)等に変調される。このマルチキャリア変調方式の中で各サブキャリアの周波数が直交関係にある直交マルチキャリア変調方式は、直交周波数分割多重(OFD



M:Orthogonal frequency division multiplexing)変調方式とも呼ばれ逆高速フーリエ変換(Inverse fast Fourier transform)回路を用いて一括生成される。この信号は搬送波帯に周波数変換され送信アンテナより送信される。受信器では受信した搬送波信号をベースバンド信号に周波数変換する。その後、ADコンバータ(Analog to digital converter)に入力され、デジタルベースバンド信号として出力されOFDM復調等の処理が行われる。

【0003】このような送受信器での周波数変換操作の際に位相雑音を受信信号に加わる。キャリア周波数誤差については自動周波数制御(AFC)を用いて抑えることが可能であるが、AFCによって残留キャリア周波数誤差が生じる。伝送速度の高速化に適している16QAM等のM値QAMをサブキャリア変調に用いる方式では、復調の際に絶対位相を基準に受信シンボルのデータ判定を行うため残留キャリア周波数誤差や位相雑音による位相回転が誤り率の増加につながる。これらの位相回転に対する補正回路としては、既知であるパイロットサブキャリア信号を送信して、受信器でパイロットサブキャリアの位相回転量を検出し補正を行う位相トラッキング回路が一般的である。図8に従来の位相トラッキング回路のブロック図を示す。従来の位相トラッキング回路では、チャンネル等化後のサブキャリア信号に対してパイロットサブキャリアを利用して位相トラッキングを行う。図8に示される位相トラッキング回路の動作を以下に示す。AFC回路1において受信OFDM信号のキャリア周波数誤差の補正が行われる。その後、時間領域OFDM受信信号s1はFFT回路2に入力されOFDM一括復調が行われる。OFDM復調された各サブキャリア信号s2はチャンネル等化回路3に入力され、マルチパス伝送路で生じた各チャンネルの伝達関数を推定しサブキャリアごとにチャンネル等化を行う。また、チャンネル等化回路で検出されたサブキャリアごとのチャンネル伝達関数は、位相回転量検出の際に各パイロットサブキャリア信号の重み付け操作に用いることも可能である。チャンネル等化信号s3に対してパイロットサブキャリア抽出回路4でパイロットサブキャリア信号s4とパイロットサブキャリア信号以外のサブキャリア信号s9とに分けられる。位相回転量検出回路6ではパイロットサブキャリア信号s4に対してパイロットデータ信号記憶回路5に記憶されたパイロットデータ信号s5を用いてパイロットサブキャリアごとの位相回転量s6を検出する。位相回転量平均回路7では、パイロットサブキャリアごとに検出された位相回転量を平均した1 OFDMシンボル当たりの位相回転量s7が検出される。フィルタ8においては複数のOFDMシンボルに渡り時間方向の平均化操作を行うことで熱雑音の影響を抑え、残留キャリア周波数誤差および位相雑音による位相回転量s8を抽出する。その後、位相補正回路9において、抽出された位相回転量s8を用いてサブキャリア信号s9に対して位相回転量の補正を行い位相補正信号s10を出力する。判定回路10においてはデータ

の判定が行われデータS11を出力する。

【0004】以上説明したように、図8に示される位相トラッキング回路では残留キャリア周波数と位相雑音による位相回転の検出、及び位相補正を行っている。このような位相トラッキング回路を用いることで、サブキャリアの変調方式に同期検波が必須であるM値QAMのような高速化に適した変調方式を用いることが可能になる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】高速な伝送速度を実現するM値QAM-OFDM方式では残留キャリア周波数誤差、および位相雑音が存在するため位相トラッキング回路が必須である。従来の位相トラッキング回路では残留キャリア周波数誤差の位相回転検出を行う際に熱雑音及び位相雑音の影響を抑えるために平均処理をしていたが、正確に残留キャリア周波数誤差を検出することができない問題がある。残留キャリア周波数誤差に起因する位相回転は定常位相回転になるので、1シンボル当たりの定常位相回転を $\Delta\theta$ 、推定される位相回転を $\theta_{est}$ とすると、残留キャリア周波数誤差のみに着目した場合には推定される位相回転は(1)の様に示される。ここでは簡単化のため2シンボル平均の場合について示している。

【0006】

【数1】

$$\theta_{est} = \frac{\Delta\theta + 2 \cdot \Delta\theta}{2} = \frac{3}{2} \Delta\theta \quad (1)$$

【0007】この様に平均操作により推定された位相回転にも誤差が残ることになる。しかし、熱雑音や位相雑音の影響を抑えるために平均処理は必須である。

【0008】従来の位相トラッキング回路では残留キャリア周波数誤差に起因する位相回転と位相雑音に起因する位相回転の異なる特徴を区別することなく位相検出をしていたため、残留キャリア周波数誤差による位相回転の検出を精度良く行うことができずパケット誤り率が劣化する問題があった。また、特性の優れた位相トラッキング回路を適用することで位相雑音が大きな周波数発振器を使用しても誤り率の劣化を抑えることが可能となる。

【0009】本発明では、この問題を解決し、定常位相回転量である残留キャリア周波数誤差と、位相の揺らぎである位相雑音の位相回転検出補正を別々に行うことで劣化を抑えた位相トラッキング回路を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上述した様に従来の位相トラッキング回路の構成では、残留キャリア周波数誤差と位相雑音の特徴を区別することなく位相検出補正していたため位相トラッキング回路を用いた場合に劣化が大きいたことが問題であった。

【0011】本発明では、まず、各パイロットサブキャリアを用いてOFDMシンボル毎の残留キャリア周波数誤差

による定常位相回転を検出し補正を行う。その後、位相雑音による位相回転について検出及び補正を行う。このように残留キャリア周波数誤差および位相雑音に起因する位相回転を個別に検出補正することで上述した問題を解決している。

【0012】本発明のマルチキャリア用位相トラッキング回路の具体的な動作は以下の通りである。本発明の位相トラッキング回路では、定常位相回転による補正を最初に行うため、その定常値の検出には式(2)に示すような累積位相回転量を用いる。

【0013】

【数2】

$$\theta_{accum} = \sum_{i=1}^n \theta_i \quad (2)$$

【0014】但し、nは位相補正を行う受信OFDMのシンボル数を示し、 $\theta_i$ は1 OFDMシンボル当たりの位相回転を、 $\theta_{accum}$ は累積位相回転量を示す。

【0015】その後、式(3)に示すような除算演算を行い各シンボル当たりの定常位相回転 $\theta_c$ を検出する。

【0016】

【数3】

$$\theta_c = \frac{\theta_{accum}}{n+1} \cdot 2 \quad (3)$$

【0017】ここで、式(3)に示す様に位相補正が行われる受信n OFDMシンボル時点での位相回転を用いて定常位相回転検出を行っているためOFDMシンボル単位の処理遅延が無く位相検出補正が可能である。一方、熱雑音のレベルが大きい場合には検出した定常位相回転が安定するまでに数OFDMシンボル程度の時間を要する。この場合には、出力が安定するまでのパケットの先頭部のデータ部とパケットの先頭部以外のデータ部では位相補正方式を切り替える。この動作の説明を図1に示す。パケット先頭部では、従来技術と同じ方式を用いて残留キャリア周波数誤差と位相雑音を区別せずに検出し位相回転の補正を行う。検出した定常位相回転が安定した数OFDMシンボル時間後に、位相補正に用いる検出位相回転量を本発明から得られた位相回転量に切替える。位相雑音については、残留キャリア周波数誤差に起因する位相回転の補正後にフィルタを用いて位相雑音による位相の揺らぎを抽出し位相回転の補正を行う。

【0018】以上のように、本発明では残留キャリア周波数誤差による位相回転を補正した後に、位相雑音による位相回転を補正することで、従来技術で問題であった残留キャリア周波数誤差による位相回転検出が精度良く実現でき補正がきちんと行える。また、熱雑音のレベルが大きく累積位相回転量が安定するまでに時間を要する場合には、パケットの先頭部のデータ部のみ従来技術による位相回転補正を行うため検出した定常位相回転の初期値が不安定なことに起因する劣化は生じない。本方式

は残留キャリア周波数誤差の補正に累積位相回転量を用いるのでデータ長が長いパケット信号に適した特性を備える。また、残留キャリア周波数誤差による定常位相回転の検出には、現時点までの位相回転量を用いるのでOFDMシンボル単位の処理遅延は生じない。

【0019】

【発明の実施の形態】請求項1によるマルチキャリア用位相トラッキング回路の実施の形態を図3に示す。本実施の形態では図2に示す送信スペクトルのモデル図の様にOFDMシンボルごとに挿入されるパイロットサブキャリアを用いて位相回転量を検出する方式に適用した場合について示す。

【0020】実施の形態の動作は以下のとおりである。受信OFDM信号はAFC回路201において受信信号のキャリア周波数誤差の補正が行われる。その後、時間領域OFDM受信信号s201はFFT回路202に入力されOFDM復調が行われる。OFDM復調された各サブキャリア信号s202は、チャネル等化回路203に入力され、推定したサブキャリアごとのチャネル伝達関数を用いてチャネル等化が行われる。ここで、チャネル等化回路で検出された各サブキャリアごとのチャネル伝達関数は、位相回転量検出の際に各パイロットサブキャリア信号の重み付け操作に用いることも可能である。チャネル等化信号s203に対してパイロットサブキャリア選択出力回路204でパイロットサブキャリア信号s204の抜き出しが行われる。定常位相回転検出回路205ではパイロットサブキャリア信号s204から位相回転信号s205を検出する。その際に、チャネル等化回路で推定されたサブキャリアごとのチャネル伝達関数を利用して重み付けを行うことも可能である。この検出された位相回転信号s205を用いて位相補正回路206において定常位相回転量の補正を行い位相補正信号s206を出力する。

【0021】以上、パイロットサブキャリア選択出力回路204、定常位相回転検出回路205、位相補正回路206が本発明のマルチキャリア用位相トラッキング回路の特徴とするところであり、それぞれ請求項1の第1の抽出手段、定常位相回転検出手段、第1の位相補正手段とに対応している。

【0022】次に位相雑音による位相回転の補正を引き続き行う。まず、パイロットサブキャリア抽出回路207においてパイロットサブキャリア信号s208が抽出される。一方、パイロットサブキャリア以外のサブキャリア信号s207も合わせて出力する。位相回転検出回路208では位相雑音による位相回転信号s209を検出する。その際に、チャネル等化回路で推定されたサブキャリアごとのチャネル伝達関数を利用して重み付けを行うことも可能である。位相補正回路209においてサブキャリア信号s207に対してs209を用いて位相雑音による位相回転量を補正し、位相補正信号s2010を出力する。

【0023】最後に、判定回路2010においてしきい値が

らの信号点に応じてデータの判定が行われデータs2011を出力する。

【0024】請求項2によるマルチキャリア用位相トラッキング回路の実施の形態を図4に示す。なお、図4で、306, 307, 308, 309及び3010により構成される回路は図3の定常位相回転検出回路205に対応し、図4の3012, 3013及び3014により構成される回路は図3の位相回転検出回路208に対応する。本実施の形態では図2に示す送信スペクトルのモデル図の様にOFDMシンボルごとに挿入されるパイロットサブキャリアを用いて位相回転量を検出する方式に適用した場合について示す。

【0025】実施の形態の動作は以下のとおりである。受信OFDM信号はAFC回路301において受信信号のキャリア周波数誤差の補正が行われる。その後、時間領域OFDM受信信号s301はFFT回路302に入力されOFDM復調が行われる。OFDM復調された各サブキャリア信号s302は、チャンネル等化回路303に入力され、推定したサブキャリアごとのチャンネル伝達関数を用いてチャンネル等化が行われる。ここで、チャンネル等化回路で検出された各サブキャリアごとのチャンネル伝達関数は、位相回転量検出の際に各パイロットサブキャリア信号の重み付け操作に用いることも可能である。チャンネル等化信号s303に対してパイロットサブキャリア選択出力回路304でパイロットサブキャリア信号s304の抜き出しが行われる。位相回転量検出回路307ではパイロットサブキャリア信号s304に対してパイロットデータ信号記憶回路306に記憶されたパイロットデータ信号s305を用いて各サブキャリアごとの位相回転量s306を検出する。位相回転量平均回路308では1 OFDMシンボル内のパイロット符号の位相を平均した平均位相回転量s307が検出される。その際に、チャンネル等化回路で推定されたサブキャリアごとのチャンネル伝達関数を利用して重み付けを行うことも可能である。その後、累積位相回転量検出回路309において平均位相回転量信号s307を入力として位相回転量の積分を行い累積位相回転量信号s308を出力する。除算回路3010では除算演算により累積位相回転量信号s308に基づいたシンボルごとの位相回転量s309を検出する。位相補正回路305ではチャンネル等化信号s303に対して位相回転量信号s309を用いて位相回転補正を行う。

【0026】以上、パイロットサブキャリア選択出力回路304、位相回転量検出回路307、位相回転量平均回路308、累積位相回転量検出回路309、除算回路3010、位相補正回路305が本発明のマルチキャリア用位相トラッキング回路の特徴とするところである。

【0027】次に、位相雑音による位相回転の補正を引き続き行う。まず、パイロットサブキャリア抽出回路3011においてパイロットサブキャリア信号s3012が抽出される。一方、パイロットサブキャリア以外のサブキャリア信号s3011も合わせて出力する。位相回転量検出回路3012ではパイロットデータ信号s305を用いて位相雑音に

よる位相回転量s3013を検出する。その後位相回転量平均回路3013において1 OFDMシンボル内での平均位相回転量s3014を検出する。その際に、チャンネル等化回路で推定されたサブキャリアごとのチャンネル伝達関数を利用して重み付けを行うことも可能である。フィルタ3014では、数OFDMシンボルにわたる時間方向の平均化処理を行い位相雑音による位相回転信号s3015を抽出する。位相補正回路3015ではサブキャリア信号s3011に対してs3015を用いて位相雑音による位相回転量を補正し、位相補正信号s3016を出力する。

【0028】最後に、判定回路3016においてしきい値からの信号点に応じてデータの判定が行われデータs3017を出力する。

【0029】請求項3によるマルチキャリア用位相トラッキング回路の実施の形態を図5に示す。本実施の形態では図2に示す送信スペクトルのモデル図の様にOFDMシンボルごとに挿入されるパイロットサブキャリアを用いて位相回転量を検出する方式に適用した場合について示す。また、本実施の形態ではパケットの先頭のデータ部とそれ以降の先頭部以外のデータ部分とで位相補正方式を切替える場合について示している。

【0030】実施の形態の動作は以下のとおりである。受信OFDM信号はAFC回路401において受信信号のキャリア周波数誤差の補正が行われる。その後、時間領域OFDM受信信号s401はFFT回路402に入力されOFDM復調が行われる。OFDM復調された各サブキャリア信号s402は、チャンネル等化回路403に入力され、推定したサブキャリアごとのチャンネル伝達関数を用いてチャンネル等化が行われる。ここで、チャンネル等化回路で検出された各サブキャリアごとのチャンネル伝達関数は、位相回転量検出の際に各パイロットサブキャリア信号の重み付け操作に用いることも可能である。出力切替回路404では、パケットの先頭部とパケット先頭部以外の部分とで異なる位相回転補正の処理が行なわれるためチャンネル等化信号を切り替えて、パケット先頭部信号s406及びパケット先頭部以外の信号s409を出力する。一方、チャンネル等化信号s403に対してパイロットサブキャリア選択出力回路405ではパイロットサブキャリア信号s404の抜き出しが行われる。位相回転検出回路406ではパイロットサブキャリア信号s404を用いて位相回転量s405を検出する。その際に、チャンネル等化回路で推定されたサブキャリアごとのチャンネル伝達関数を利用して重み付けを行うことも可能である。

【0031】パケット先頭部の位相補正に対してはs405を用いて位相補正回路407においてパケット先頭部信号s406に対しての位相回転量の補正を行い位相補正信号s407を出力する。

【0032】他方、パケット先頭部以降の信号の補正に対する補正に対しては、定常位相回転検出回路408においてパイロットサブキャリア信号s404から位相回転信号s408を検出する。その際に、チャンネル等化回路で推定さ

れたサブキャリアごとのチャネル伝達関数を利用して重み付けを行うことも可能である。位相補正回路409では、パケット先頭部以降のパケット信号s409に対して位相回転信号s408を用いて定常位相回転の補正を行う。

【0033】以上、出力切替回路404、パイロットサブキャリア選択出力回路405、位相回転検出回路406、位相補正回路407、定常位相回転検出回路408、位相補正回路409が本発明のマルチキャリア用位相トラッキング回路の特徴とするところであり、それぞれ請求項3の切替手段、第1の抽出手段、第1の位相回転検出手段、第1の位相補正手段、定常位相回転検出手段、第2の位相補正手段とに対応している。

【0034】先頭部以外のパケット信号では位相雑音による位相回転の補正を引き続き行う。まず、パイロットサブキャリア抽出回路4010においてパイロットサブキャリア信号s4011が抽出される。一方、パイロットサブキャリア以外のサブキャリア信号s4012も合わせて出力する。位相回転検出回路4011では位相雑音による位相回転量s4013を検出する。その際に、チャネル等化回路で推定されたサブキャリアごとのチャネル伝達関数を利用して重み付けを行うことも可能である。位相補正回路4012ではサブキャリア信号s4012に対してs4013を用いて位相雑音による位相回転量を補正する。

【0035】最後に、入力切替回路では位相補正された、パケット先頭部の信号s407、及びパケット先頭部以降の信号s4014を切り替えて出力しこれを選択位相補正信号s4015とする。判定回路4014においてしきい値からの信号点に応じてデータの判定が行われデータs4016を出力する。

【0036】請求項4によるマルチキャリア用位相トラッキング回路の実施の形態を図6に示す。なお、図6において、106, 107, 108, 109により構成される回路は図5の位相回転検出回路406に対応し、図6の106, 107, 108, 1011及び1012により構成される回路は図5の定常位相回転検出回路408に対応し、図6の1015, 1016, 1017により構成される回路は図5の位相回転検出回路4011に対応する。本実施の形態では図2に示す送信スペクトルのモデル図の様にOFDMシンボルごとに挿入されるパイロットサブキャリアを用いて位相回転量を検出する方式に適用した場合について示す。また、本実施の形態では請求項3に示されるような、パケットの先頭のデータ部とそれ以降の先頭部以外のデータ部分とで位相補正方式を切替える場合について示している。

【0037】実施の形態の動作は以下の通りである。受信OFDM信号はAFC回路101において受信信号のキャリア周波数誤差の補正が行われる。その後、時間領域OFDM受信信号s101はFFT回路102に入力されOFDM復調が行われる。OFDM復調された各サブキャリア信号s102は、チャネル等化回路103に入力され、推定したサブキャリアごとのチャネル伝達関数を用いチャネル等化が行われる。ここ

で、チャネル等化回路で検出された各サブキャリアごとのチャネル伝達関数は、位相回転量検出の際に各パイロットサブキャリア信号の重み付け操作に用いることも可能である。チャネル等化信号s103に対してパイロットサブキャリア選択出力回路104でパイロットサブキャリア信号s104の抜き出しが行われる。出力切替回路105では、パケットの先頭部とパケット先頭部以外の部分とで異なる位相回転補正の処理が行われるためチャネル等化信号を切り替えて、パケット先頭部信号s109及びパケット先頭部以外の信号s1010を出力する。一方、位相回転量検出回路107ではパイロットサブキャリア信号s104に対してパイロットデータ信号記憶回路106に記憶されたパイロットデータ信号s105を用いて各サブキャリアごとの位相回転量s106を検出する。位相回転量平均回路108では1 OFDMシンボル内のパイロット符号の位相を平均した平均位相回転量s107が検出される。その際に、チャネル等化回路で推定されたサブキャリアごとのチャネル伝達関数を利用して重み付けを行うことも可能である。

【0038】パケット先頭部の位相補正に用いるため、フィルタ109を用いて複数のOFDMシンボルに渡り時間方向の平均化操作を行うことで熱雑音の影響を押さえ、残留キャリア周波数誤差、及び位相雑音によるフィルタ出力信号s108を抽出する。この抽出されたフィルタ出力信号s108を用いて位相補正回路1010においてパケット先頭部信号s109に対しての位相回転量の補正を行い位相補正信号s1011を出力する。

【0039】他方、パケット先頭部以降の信号の補正に対する補正に対しては、累積位相回転量検出回路1011において平均位相回転量信号s107を入力として位相回転量の積分を行い累積位相回転信号s1012を出力する。除算回路1012では除算演算により累積位相回転信号s1012に基づいたシンボルごとの位相回転量s1013を検出する。位相補正回路1013では、パケット先頭部以降のパケット信号s1010に対して位相回転量信号s1013を用いて位相回転補正を行う。

【0040】以上、出力切替回路105、パイロットサブキャリア選択出力回路104、位相回転量検出回路107、位相回転量平均回路108、フィルタ109、位相補正回路1010、累積位相回転量検出回路1011、除算回路1012、位相補正回路1013が本発明のマルチキャリア用位相トラッキング回路の特徴とするところである。

【0041】先頭部以外のパケット信号では位相雑音による位相回転の補正を引き続き行う。まず、パイロットサブキャリア抽出回路1014においてパイロットサブキャリア信号s1015が抽出される。一方、パイロットサブキャリア以外のサブキャリア信号s1016も合わせて出力する。位相回転量検出回路1015ではパイロットデータ信号s106を用いて位相雑音による位相回転量s1017を検出する。その後位相回転量平均回路1016において1 OFDMシンボル内での平均位相回転量s1018を検出する。その際

に、チャネル等化回路で推定されたサブキャリアごとのチャネル伝達関数を利用して重み付けを行うことも可能である。フィルタ1017では、数OFDMシンボルにわたる時間方向の平均化処理を行い位相雑音による位相回転信号s1019を抽出する。位相補正回路で1018はサブキャリア信号s1016に対してs1019を用いて位相雑音による位相回転量を補正する。

【0042】最後に、入力切替回路では位相補正された、パケット先頭部の信号s1011、及びパケット先頭部以降の信号s1020を切り替えて出力しこれを選択位相補正信号s1021とする。判定回路1020においてしきい値からの信号点に応じてデータの判定が行われデータs1022を出力する。

【0043】本発明の位相トラッキング回路の計算機シミュレーションによる実施形態の効果を図7に示す。図には残留キャリア周波数誤差と位相雑音が存在する場合のパケット誤り率(PER)特性が示されている。シミュレーションの条件を表1に示す。位相雑音の条件として

データレート	24.0Mbit/s
サブキャリア変調方式	16QAM
誤り訂正方式	たたみ込み符号化ビタビ復号
符号化率	1/2
拘束長	7
データサブキャリア数	48
パイロットサブキャリア数	4
OFDMシンボル長	4.0 $\mu$ s
ガードインターバル長	0.8 $\mu$ s
フェーディングモデル	指数減衰レイリーフェーディングモデル

【0046】

【発明の効果】以上述べた通り、本発明のマルチキャリア用位相トラッキング回路では、残留キャリア周波数誤差と位相雑音による位相回転の特徴を利用した、残留キャリア周波数誤差補正回路を付加することで位相回転の検出精度を高めることが可能となり、高性能な位相トラッキング回路を提供することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の動作説明図である。

【図2】本発明の実施の形態に用いる送信スペクトルモデル説明図である。

【図3】本発明の実施例のブロック図である。

【図4】本発明の別の実施例のブロック図である。

【図5】本発明の更に別の実施例のブロック図である。

【図6】本発明の更に別の実施例のブロック図である。

【図7】シミュレーションの結果を示す図である。

【図8】従来の構成を示したブロック図である。

【符号の説明】

- 1 AFC回路
- 2 FFT回路
- 3 チャネル等化回路

はPLL帯域幅であり、 $\phi^1, \dots$ は位相雑音の信号電力比を示す。比較のため従来方式である、残留キャリア周波数誤差補正を行わずに移動平均フィルタのみで位相トラッキングを行う方式の結果も示した。3シンボル移動平均フィルタを用いた場合には残留キャリア周波数誤差の存在により位相回転量が正確に検出できなくなるため特性が劣化する。提案方式は残留キャリア周波数誤差による位相回転をあらかじめ補正している。従って、残留周波数誤差による劣化を抑えることができ、従来方式の2シンボル移動平均フィルタを用いる場合と残留キャリア周波数誤差補正を行う場合と比較してPER=0.01において所要Eb/N0が約0.3dB改善している。

【0044】以上より、本発明を用いることで高精度な残留キャリア周波数誤差検出、位相雑音の抽出が可能になりPERの劣化を抑え特性が改善することがわかる。

【0045】

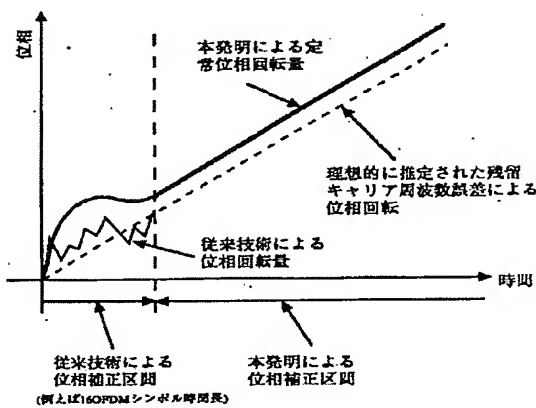
【表1】

- 30 4 パイロットサブキャリア抽出回路
- 5 パイロットデータ信号記憶回路
- 6 位相回転量検出回路
- 7 位相回転量平均回路
- 8 フィルタ
- 9 位相補正回路
- 10 判定回路
- 101 AFC回路
- 102 FFT回路
- 103 チャネル等化回路
- 40 104 パイロットサブキャリア選択出力回路
- 105 出力切替回路
- 106 パイロットデータ信号記憶回路
- 107 位相回転量検出回路
- 108 位相回転量平均回路
- 109 フィルタ
- 1010 位相補正回路
- 1011 累積位相回転量検出回路
- 1012 除算回路
- 1013 位相補正回路
- 50 1014 パイロットサブキャリア抽出回路

13

- 1015 位相回転量検出回路
- 1016 位相回転量平均回路
- 1017 フィルタ
- 1018 位相補正回路
- 1019 入力切替回路
- 1020 判定回路
- s1 時間領域OFDM受信信号
- s2 各サブキャリア信号
- s3 チャンネル等化信号
- s4 パイロットサブキャリア信号
- s5 パイロットデータ信号
- s6 位相回転量
- s7 1 OFDMシンボル当たりの位相回転量
- s8 位相回転量
- s9 サブキャリア信号
- s10 位相補正信号
- s11 データ
- s101 時間領域OFDM受信信号
- s102 各サブキャリア信号
- s103 チャンネル等化信号

【図 1】

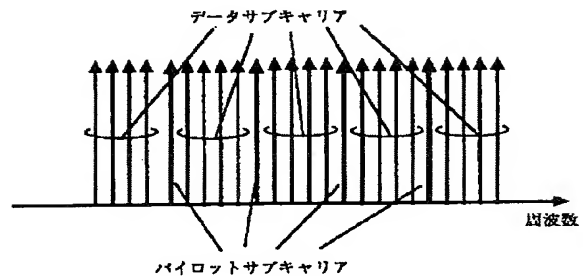


14

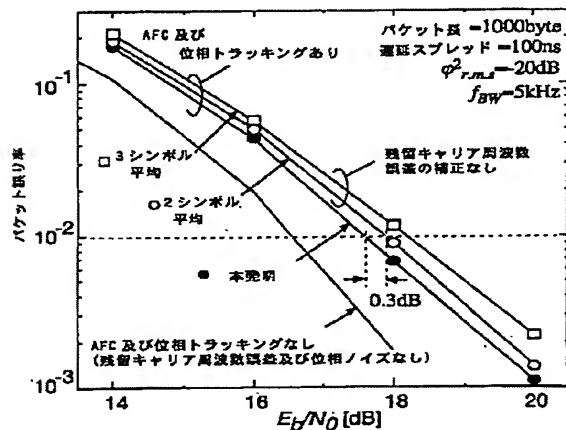
- s104 パイロットサブキャリア信号
- s105 パイロットデータ信号
- s106 位相回転量
- s107 平均位相回転量信号
- s108 フィルタ出力信号
- s109 パケット先頭部信号
- s1010 パケット先頭部以外の信号
- s1011 位相補正信号
- s1012 累積位相回転信号
- 10 s1013 平均位相回転量
- s1014 位相補正信号
- s1015 パイロットサブキャリア信号
- s1016 サブキャリア信号
- s1017 位相回転信号
- s1018 平均位相補正信号
- s1019 位相回転信号
- s1020 位相補正信号
- s1021 選択位相補正信号
- s1022 データ信号

20

【図 2】

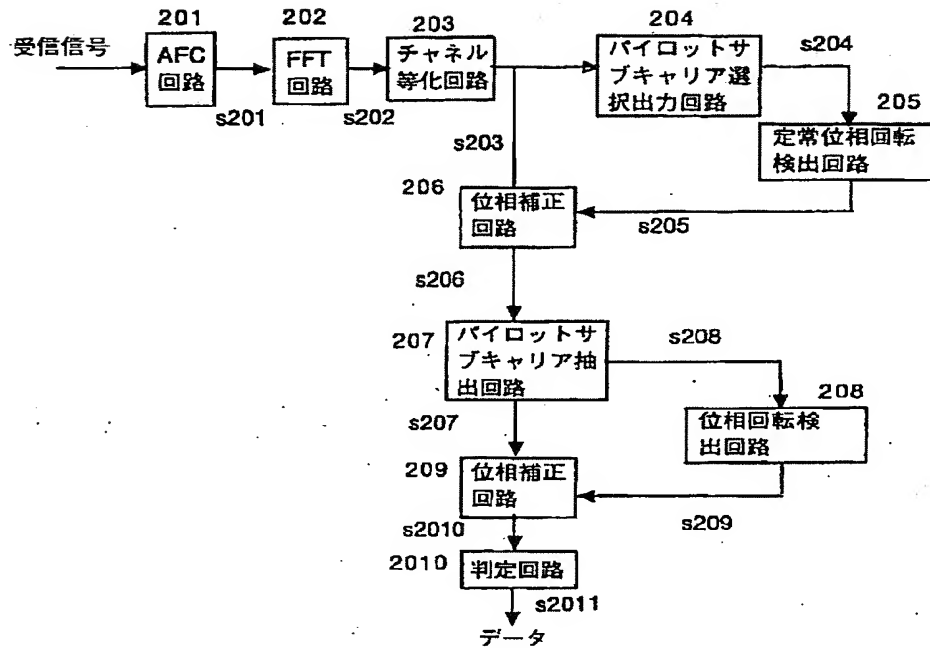


【図 7】



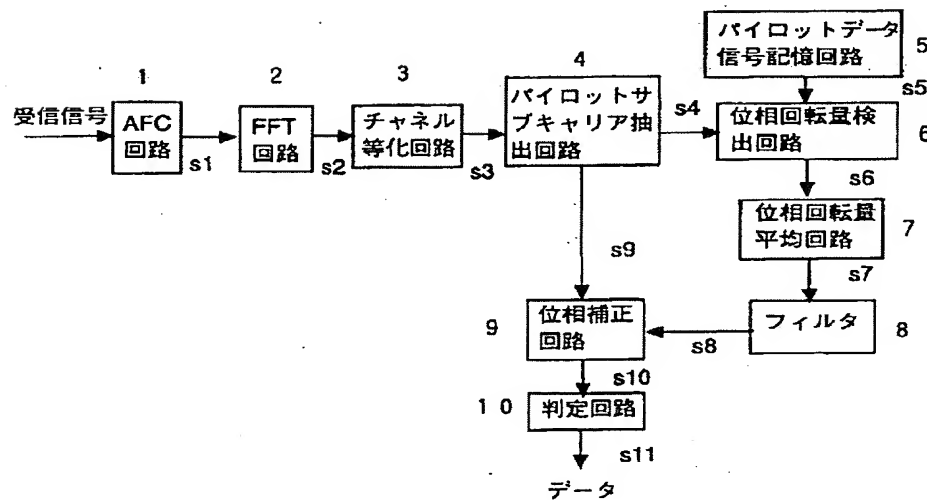


【図 3】

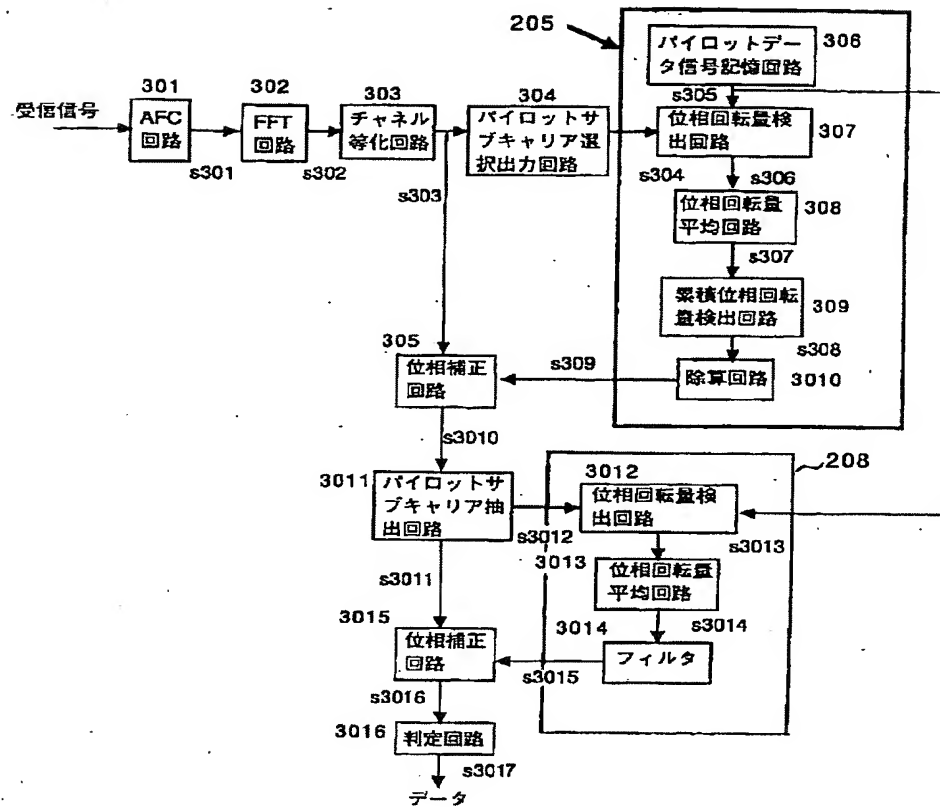


## 本発明の実施例

【図 8】

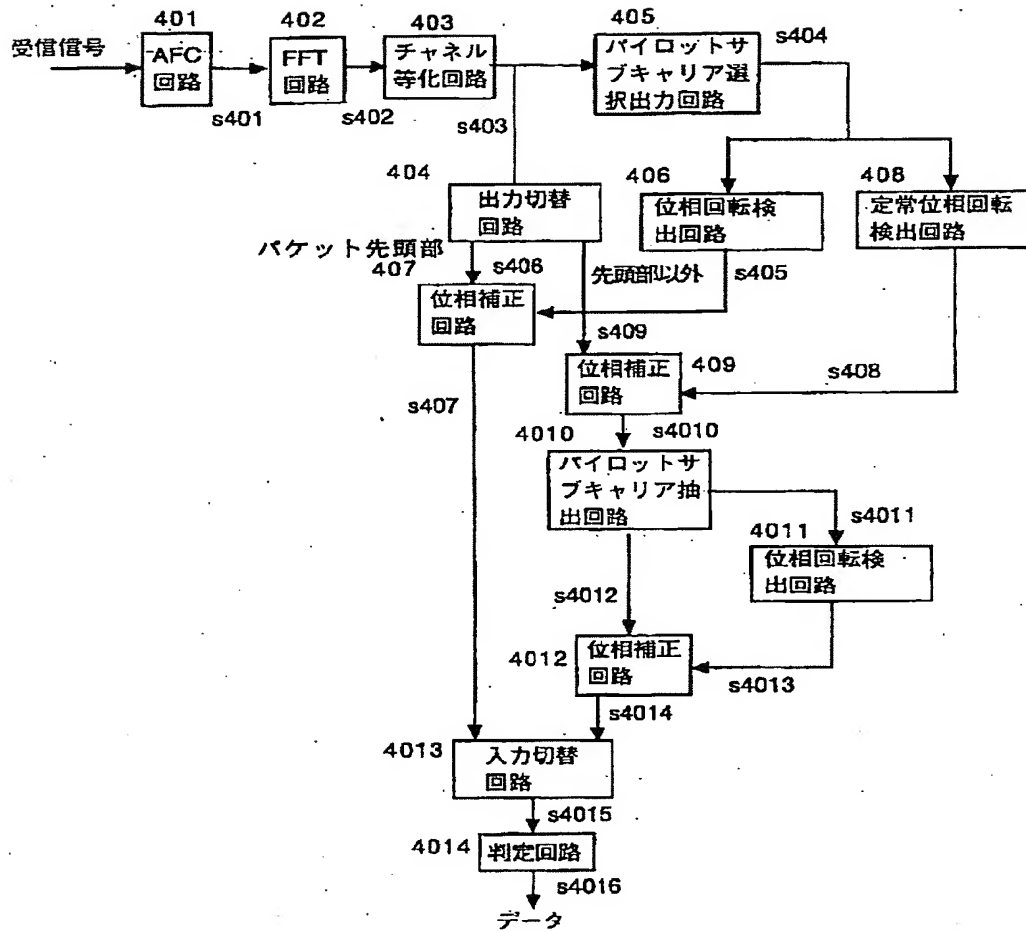


【図 4】



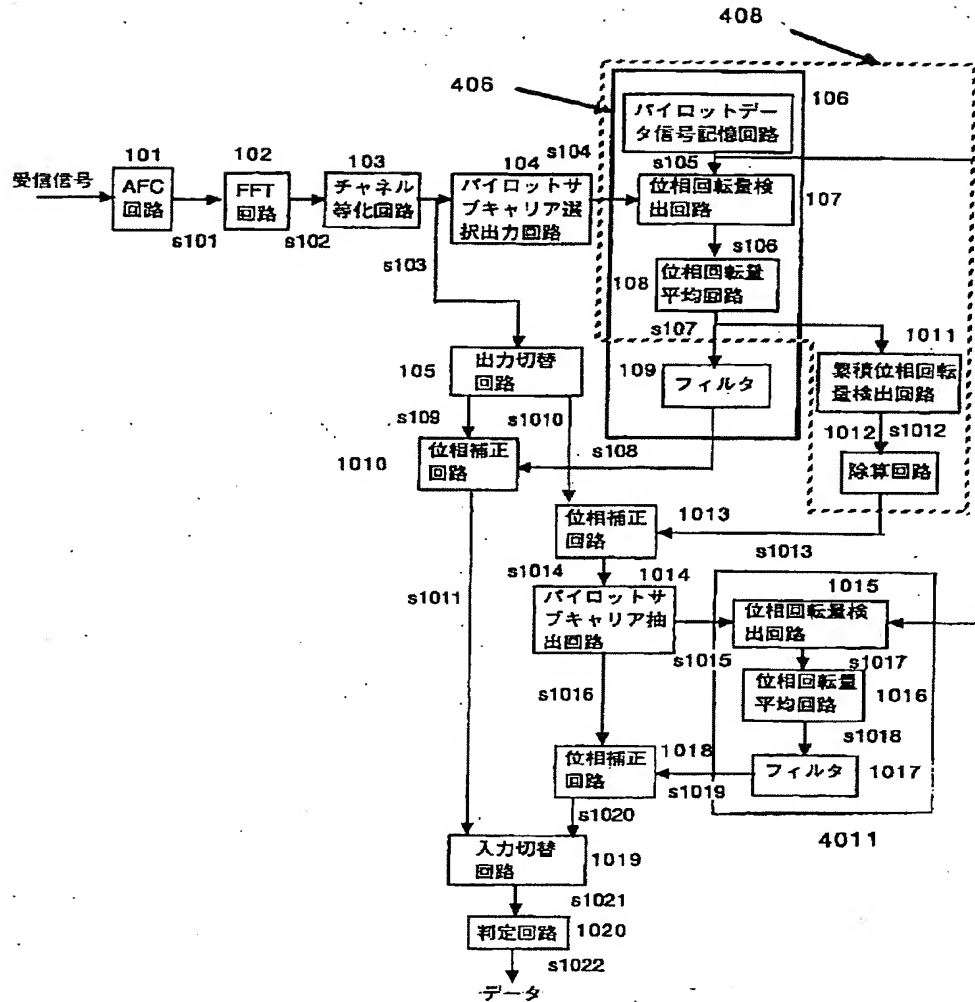
本発明の実施例

【図 5】



本発明の実施例

【図 6】



本発明の実施例

フロントページの続き

(72)発明者 熊谷 智明  
 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
 電信電話株式会社内

(72)発明者 守倉 正博  
 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
 電信電話株式会社内  
 Fターム(参考) 5K022 DD00 DD01 DD13 DD18 DD19  
 DD33 DD42